

Empleo de instrumentación avanzada en el análisis y evaluación de la calidad del trabajo de las vendimiadoras

De la vendimia masiva a la vendimia selectiva

Si en 2010 abordábamos el tránsito de la vendimia mecanizada a la mecanización total, en este artículo nos centramos en la implantación de los sistemas de viticultura de precisión, la vendimia mecanizada selectiva y el empleo de instrumentación avanzada que puede emplearse en la evaluación de la calidad del trabajo de las vendimiadoras en uno y otro caso.

Eva Baguena y Pilar Barreiro.

LPE_TAGRALIA. Universidad Politécnica de Madrid.
CEI Moncloa.

La vendimia mecanizada ya en 2008 alcanzó el 100% del total de la superficie dedicada al cultivo de la vid en Australia, siendo entonces un 75% en Francia y apenas un 8% en Italia. En España,

en cambio, la mecanización de la vendimia comienza en los inicios de la década de 1990, tras la necesaria adaptación del sistema de cultivo. La evolución del censo de vendimiadoras muestra el comportamiento típico en la introducción de nuevo equipamiento, lento en sus inicios y en plena expansión en la actualidad, con un censo automotriz en 2011 de 1.554 unidades según el anuario de estadística agroalimentaria de 2012.

En 2010, nos atrevimos a ajustar estos datos a una función sigmoidea (99,9% de fiabilidad), prediciendo entonces que el parque de vendimiadoras podría estabilizarse ligeramente por encima de 1.500 unidades para 2015 (Barreiro, 2010) (**figura 1**). Ya decía el famoso físico Niels Bohr (a mí me lo dijo Jaime Ortiz-Cañavate) que las predicciones son extremadamente peligrosas, especialmente cuando se realizan a futuro y ésta es claramente una lección que asumimos pues si ajustamos de nuevo la función con los nuevos datos disponibles (también con un 99,9% de fiabilidad), en 2015 habrá matriculadas cerca de 2.000 unidades.

Es importante recordar que el censo refiere exclusivamente a vendimiadoras automotrices pues son las que requieren matriculación, de manera que el número total es significativamente superior. Según datos no oficiales, en las comunidades autónomas españolas donde se ha iniciado la mecanización, la vendimia mecanizada supone entre un 15% y un 60% del total.

Tipología de las vendimiadoras

Como hemos indicado en otras ocasiones (Barreiro, 2010), la gran mayoría de las vendimiadoras comercializadas trabajan sobre la base del vibrado horizontal del cordón, en plantas entutoradas en espaldera. Este tipo de máquinas pueden, en primer lugar, clasificarse en: arrastradas, autopropulsadas y multifunción.

Vendimiadoras arrastradas

Las vendimiadoras arrastradas (**foto 1**) suponen el menor coste de adquisición y mantenimiento (en términos generales la mitad de las autopropulsadas), están especialmente indicadas para superficies cultivadas inferiores a 25 ha (esta consideración depende del coste de la mano de obra local) pero tiene tres grandes inconvenientes:



1) El radio de giro es muy superior a las máquinas autopropulsadas debido a la mayor longitud del conjunto tractor-vendimiadora.

2) La dificultad de mantener correctamente alineada la máquina detrás del tractor en parcelas con pendientes transversales pronunciadas, dado que la máquina tiende a deslizar lateralmente y puede provocar daños en el sistema de conducción de las viñas.

3) La mayor compactación del terreno cerca de las raíces de las cepas, dado que el tractor circula por el espacio intercepa con las ruedas próximas a las viñas. Se deben considerar además las restricciones derivadas de una elevada potencia a la toma de fuerza del tractor (al menos 75 CV, 56 kW).

Vendimiadoras autopropulsadas

Las máquinas autopropulsadas (**fotos 2 y 3**) (se ofertan en un rango de 100 a 175 CV, 75 kW - 131 kW, mayoritariamente de la generación de motores Tier III para el control de emisiones) tienen un coste adquisición sustancialmente superior que las arrastradas (más del doble) y por tanto resulta imprescindible realizar un análisis de costes (euro/ha) adecuado para el que se recomienda acotar el número de horas de utilización al año y considerar un periodo de amortización de la máquina de cinco años; su adquisición para los modelos más sencillos puede justificarse a partir de 50 ha (una vez más dependiendo del coste de la mano de obra local).

En este análisis en todo caso se debe considerar asimismo el beneficio que se deriva de poder cosechar en el momento óptimo de maduración de la uva dada la elevada capacidad de trabajo de estas máquinas (1 h de trabajo mecanizado equivale al trabajo de una cuadrilla de diez personas en una jornada completa), la mejora en la logística de entrada de la uva en bodega (dado que el flujo de uva se hace más constante), así como la menor dependencia de la disponibilidad de mano de obra estacional.

En las campañas en las que la sequía u otro factor ambiental reduce significativamente la productividad superficial, puede volver a ser interesante la recolección manual comparada con la vendimia mecanizada en aquellas situaciones próximas al umbral de rentabilidad. Éste hecho unido a la actual crisis económica –descenso del coste de mano de obra y mayor disponibilidad– ya se está poniendo de mani-



Foto 1. Vendimiadora arrastrada Selecta 3 de la marca Alma.

fiesto, aunque la mecanización mayoritaria de la vendimia es imparable a largo plazo, excluyendo como es lógico los vinos de altísimo valor añadido.

Un aspecto relevante en la selección de máquinas autopropulsadas es la disponibilidad de tolva en la propia máquina (1.000 a 3.000 litros de capacidad) o la descarga lateral en un remolque que circule en paralelo con la vendimiadora. En general el primer tipo está especialmente recomendado para parcelas de re-

ducido tamaño, mientras que el segundo se adapta mejor a parcelas de grandes dimensiones de manera que no hay que plantearse cuántas líneas son necesarias para llenar la tolva, ni la colocación del remolque de descarga o incluso la necesidad de dos remolques en caso de que el número de líneas necesarias para llenar la tolva sea impar; en este caso es imprescindible que la distancia entre líneas permita la circulación del conjunto tractor-remolque para la descarga. Algunas marcas (como

FIGURA 1

Censo de vendimiadoras automotrices en España.

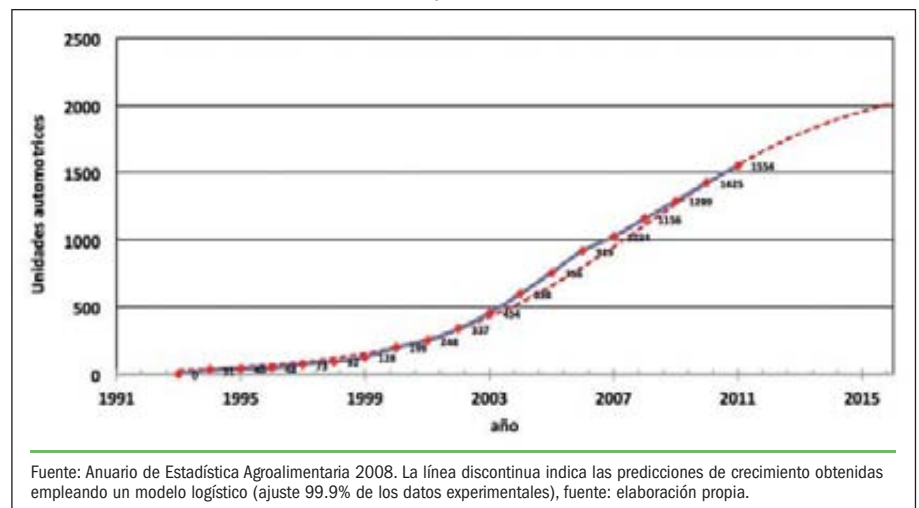




Foto 2. Vendimiadora autopropulsada 9060 L Braud de la marca New Holland. Foto 3. Vendimiadora autopropulsada de la marca Pellenc.



Pellenc o New Holland) ofrecen, para las vendimiadoras sin tolva, un pequeño receptáculo de reciclado para el caso de que exista un obstáculo durante la circulación de la vendimiadora (un árbol, por ejemplo) de manera que la uva se almacena a bordo durante ese pequeño espacio de tiempo. Un aspecto relevante relacionado con el empleo de una tolva en la vendimiadora es la elevación del centro de gravedad de la máquina (más sensible al vuelco) según las tolvas se van llenando. Esto es especialmente relevante en parcelas con elevadas pendientes, y en este sentido los sistemas de autonivelado de las máquinas son fundamentales.

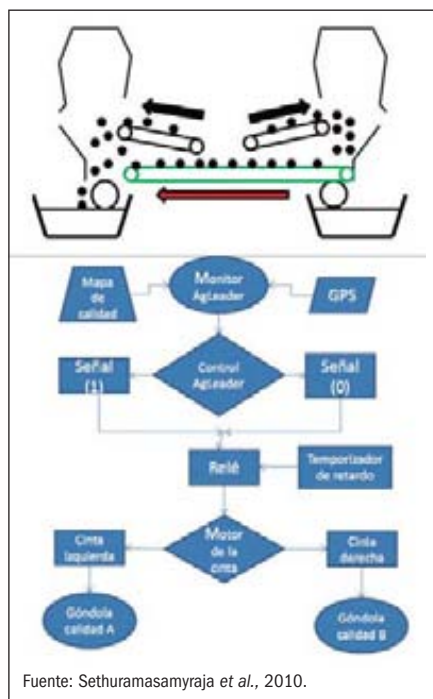
Máquinas multifunción

Las máquinas multifunción son capaces de llevar a cabo una gran variedad de tareas: pre-poda, pulverización, deshojado, ajuste de la productividad (reducción del número de bayas por cepa), trabajo del suelo (pase de cultivador) cuando se dispone de los accesorios adecuados. En todos los sentidos estas máquinas son equivalentes a un tractor. En estos equipos es muy relevante que las conexiones hidráulicas y mecánicas estén centralizadas, de manera que la operación de acoplamiento y desacoplamiento pueda ser llevada a cabo por una sola persona en tiempo reducido (10 minutos). Recientemente han aparecido en el mercado vendimiadoras multifunción autopropulsadas para distancia intercepas reducidas (hasta 1,2 m), aunque aún no se han difundido en España. En el momento de redactar este artículo

nos encontrábamos a la espera de recibir información detallada sobre este caso particular, pero tendremos que esperar a la próxima ocasión para llevarlo a cabo.

FIGURA 2

Vendimia selectiva: arriba patente de New Holland (Berthet y cols., 2010), abajo sistema de georreferenciación y control empleado por Sethuramasamyraja *et al.*, 2010.



Fuente: Sethuramasamyraja *et al.*, 2010.

Otros aspectos decisivos en la selección de las máquinas autopropulsadas y multifunción son la capacidad de autoalineación del cabezal de vibración, la existencia de transmisión continua, control de velocidad de cruce, el tipo de neumáticos y el control de deslizamiento de las ruedas (mediante sensores de velocidad de avance real), máximo ángulo de giro de la dirección y frenado individual de las ruedas para reducir el ángulo de giro, sistemas de engrasados centralizados (automatizados en altas gamas), limpieza semiautomática de la máquina, facilidad de acceso a filtros de aire, calidad del acero inoxidable de las tolvas para reducir residuos, existencia de tomas de fuerza adicionales, y otros accesorios como despallilladoras, etc.

La posibilidad de cosechar por la noche cuando la temperatura de la uva está más controlada es una ventaja clara de la vendimia mecanizada ya que, en variedades como Bordeaux roja o en variedades blancas como Chardonnay o Sauvignon Blanc, puede ser fundamental para evitar la oxidación o fermentación espontánea.

Vendimia de precisión

El uso de prácticas de agricultura de precisión en viticultura es relativamente reciente, en relación a otros cultivos. Los primeros estudios se llevaron a cabo en Australia y EE.UU., mientras que en España la implantación de la viticultura de precisión se está produciendo de for-

ma lenta, a pesar de que los estudios demuestran que su uso permite llevar a cabo una gestión diferenciada de las parcelas, de forma que se reduzcan los insumos, y consecuentemente hay un menor coste de producción. En los trabajos llevados a cabo por Baguena y cols. (2009, 2010, 2011) se desarrolló un sistema para la medida del rendimiento y la calidad de la uva a bordo de vendimiadoras.

En dichos estudios, durante tres campañas se recogieron datos de varios dispositivos instalados en la máquina (células de carga, refractómetro, Pt100, GPS y acelerómetro), de forma que se monitorizaron, en tiempo real, tanto el peso como parámetros de calidad de la uva recogida (esto último en contadas ocasiones). Este sistema fue de gran interés no sólo para las bodegas, que les permitía observar desde la bodega lo que sucedía en campo en tiempo real, sino que también fue estudiado a fondo por la marca New Holland como punto de partida para futuros monitores de rendimiento. Además este trabajo, que culminó en una Tesis Doctoral, recibió recientemente el premio Giuselle Pelliz-

zi a la mejor Tesis internacional, otorgado por el prestigioso Club of Bologna y Unacoma (Federación Italiana de Fabricantes de Maquinaria Agrícola).

Vendimia diferenciada

La gestión diferenciada de las parcelas no solo permite reducir los insumos, como se ha mencionado anteriormente, sino que permite identificar distintas zonas de calidad dentro de las parcelas (Bramley, 2005a, 2005b), de forma que se podrán elaborar vinos de diferente calidad. Una vez monitorizadas y definidas dichas zonas de calidad, se puede llevar a cabo una vendimia diferenciada de acuerdo a los parámetros de calidad definidos previamente.

Desarrollar una vendimiadora que permita llevar a cabo dicha vendimia diferenciada ha sido un reto para los fabricantes de maquinaria. El primer paso en todos los casos, pasa por instalar en la máquina un GPS y un monitor de rendimiento en el que se cargan los mapas georeferenciados con las distintas zonas de cali-

dad diferenciada. En el caso de las vendimiadoras con descarga lateral existen diferentes posibilidades: una de ellas emplea una cinta de descarga bidireccional que envía las uvas a dos remolques distintos en función de la calidad de la uva (Sethuramasamyraja *et al.*, 2010); otro procedimiento es la instalación de dos brazos de descarga laterales controlados por un relé que se activa o desactiva para enviar la uva hacia un lado u otro. La solución en el caso de las vendimiadoras con tolva y descarga trasera ha sido algo más compleja. La patente desarrollada por New Holland (Berthet *et al.*, 2010) describe una solución en la que bajo las dos cintas transportadoras se instala otra de mayor dimensión, con accionamiento bidireccional, a la que iban cayendo las uvas. En este diseño se activa uno u otro sentido en función de la calidad de la uva (figura 2).

La pregunta que surge inmediatamente es si el vino obtenido con este procedimiento de vendimia selectiva es superior al de la vendimia masiva. En este sentido, se ha publicado un amplio estudio realizado por el Centro de Vi-

Llega donde los demás no se atreven



¿Necesita un vehículo que trabaje tan duro como usted? Conozca el nuevo vehículo multiuso Gator XUV 550. Un potente pero económico motor de 2 cilindros en V, sobre un resistente bastidor, con suspensión independiente en las 4 ruedas y un sistema de doble tracción que le lleva cómodamente hasta donde usted tenga que ir. Y con su completa gama de accesorios será aún más versátil y polivalente ante cualquier tarea.

Pruebe el nuevo vehículo multiuso Gator 550 XUV en su concesionario John Deere.



JOHN DEERE

NOS VEMOS
EN EL CAMPO

JohnDeere.com

ticultura y Enología de la Universidad del Estado de California, Fresno (Sethuramasamyraja *et al.*, 2010) sobre alrededor de 100 ha de Cabernet Sauvignon en parcelas de dos zonas distintas (**figura 3**). Este trabajo indica que el contenido en sólidos solubles fue empleado para determinar la fecha de vendimia, mientras que la calidad se estableció para dos niveles promedio distintos de contenido en antocianina -9,87 y 1,05 mg/g de uva, respectivamente-. La calidad final del vino evaluada por un panel de veinte catadores en ensayos de tipo dúo y trío (con cinco repeticiones) indicaron que los vinos mostraron diferencias significativas (nivel de confianza de 99,4%) en aroma y flavor (olor percibido en la boca debido al flujo retro-nasal).

Ajuste de los parámetros de la vendimiadora

Los ajustes principales de las vendimiadoras refieren al número y disposición de las varillas de vibrado, la apertura del cabezal de vibración para adaptarse al desarrollo foliar de la planta (manual o automático, según los modelos), la amplitud y la frecuencia de vibrado y la velocidad de avance. Especialistas en el uso de estas máquinas indican que el resultado final es atribuible en un 35-40% a la máquina propiamente dicha, mientras que el restante 65-60% es debido a partes iguales al operador y a la buena disposición de las viñas para la mecanización. En general, a la hora de ajustar estos parámetros se recomienda priorizar las cepas sobre los racimos, dado que es fundamental para no comprometer producciones en años sucesivos.

El número de varillas de fibra de vidrio que se emplean en los sistemas de vibración horizontal oscila entre cuatro y seis, y han de ajustarse en altura justo por encima de la zona de producción: se trata de vibrar sin golpear.

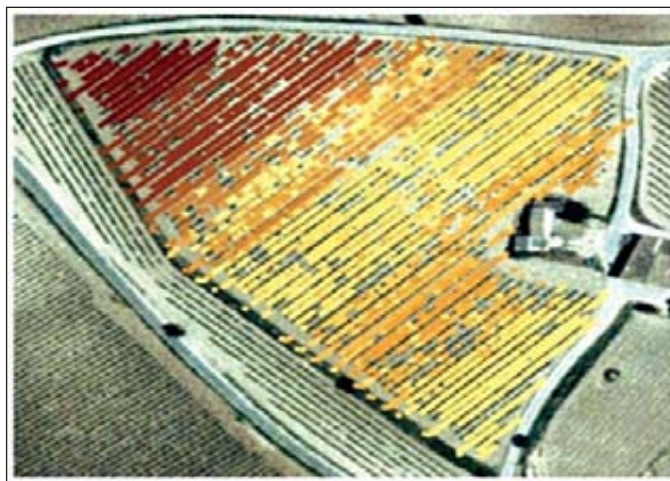
Cuando se emplea baja am-

plitud y alta frecuencia la recolección de bayas es total. Si existen problemas de podredumbre avanzada (muy bajo peso de las bayas) puede ser interesante aumentar la amplitud y disminuir la frecuencia de manera que solo las bayas más pesadas e incluso racimos completos se desprendan, aunque esta recomendación es incapaz de evitar frutos con botritis en sus estados iniciales. En variedades blancas u otras como Pinor Noir, donde una cierta cantidad de escobajos es importante en la fermentación, estas recomendaciones pueden también ser tenidas en cuenta.

El ajuste adecuado de las máquinas puede también reducir aunque no evitar los proble-

FIGURA 3

Zonas de calidad con diferente nivel de contenido en sólidos solubles de acuerdo con Baguena y col. 2011.



una mayor oposición en el procedimiento de vibrado horizontal.

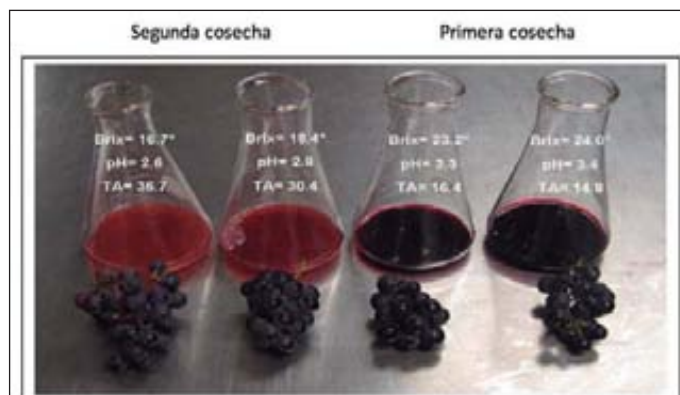
En máquinas a emplear en un gran número de viñedos con distintas variedades y densidades de follaje, conviene disponer de vendimiadoras capaces de almacenar una variedad de programas ajustados a las distintas configuraciones. Algunas de las máquinas que están en el mercado permiten almacenar más de veinte y son ideales para casos de servicios a terceros o propiedad por parte de la bodega.

Evaluación de la eficiencia y calidad de la recolección

Se denomina eficiencia a la recolección al porcentaje de producción que es retirado del campo. Su estudio es fundamental dado que se ve afectado por la morfología de los racimos y la fuerza de adhesión de las bayas a éste. Además se ha de considerar el desprendimiento de materiales distintos de las bayas (MOG, *Material Other than Grapes*): peciolo, hojas, escobajos, e incluso elementos metálicos de atado; así como la existencia de madurez agrupada y ausencia o eliminación de segundas cosechas (racimos con una madurez retardada tres o más semanas respecto al conjun-

FIGURA 4

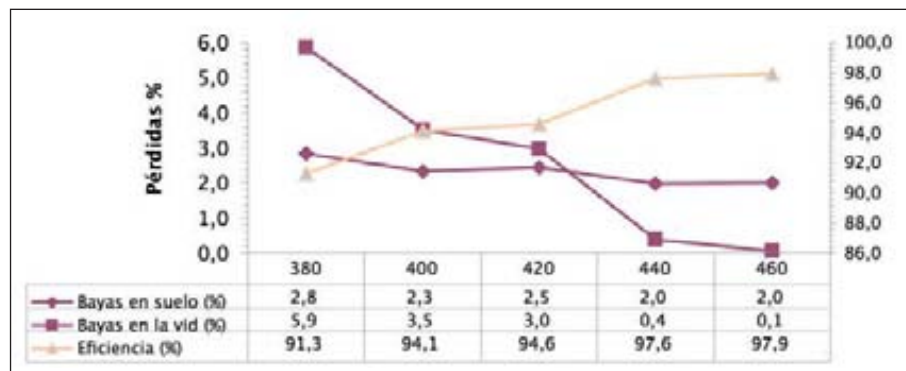
Calidad de los racimos de segunda cosecha (dos primeros a la izquierda) comparado con los racimos en sazón de la primera vendimia (dos último por la derecha).



Fuente: Iowa State University, (<http://www.extension.iastate.edu/Wine>).

FIGURA 5

Eficiencia a la recolección (%) y pérdidas en cosecha para la vendimiadora New Holland VL6060. Fuente: Pezzi y Caprara (2009).



to), o ausencia de podredumbres, aspectos de extrema importancia en la calidad final de la cosecha considerando una recolección indiscriminada por parte de las cosechadoras.

Un aspecto fundamental a evaluar con el fin de mejorar la eficiencia de la recolección de las vendimiadoras es la interacción entre la máquina y la vid. Los estudios más recientes y más completos que se han publicado proceden de Pezzi y Caprara (2009, 2011) que han realizado sendos trabajos de campo con diversas vendimiadoras: New Holland y Gregoire; arrastradas y autopropulsadas. En estos estudios se analiza la frecuencia óptima de vibrado y su transmisión en la planta, y se evalúa cómo ésta afecta a la calidad de la uva recogida.

Si el primer estudio se realizó con una vendimiadora New Holland VL6060 Braud, el se-

gundo se llevó a cabo con dos tipos diferentes de máquinas Gregoire, una arrastrada (G60) y otra autopropulsada (G152). En los tres casos la eficiencia media a la recolección se sitúa en torno al 95%. Conviene destacar que dado que los estudios de ambas marcas se han efectuado en distintas campañas, no es la comparación entre ellas lo que ha de atenderse sino la caracterización de una amplia tipología de máquinas. Indicamos además que en ambos estudios la productividad superficial: 21 y 23 t/ha respectivamente es elevadísima, si la comparamos con los valores típicos en España.

Comenzamos entonces con el primer estudio de 2009 que evalúa la transmisión de vibraciones en cepas de la variedad Lambrusco Grasparossa recolectadas con una New Holland VL6060 estableciendo un análisis de pér-

didas (bayas no recogidas, mosto liberado y retenido en la vegetación, o expulsado por el sistema de limpieza) en función de los parámetros de ajuste de la vendimiadora (frecuencias de vibración de 380 a 460 min⁻¹) (figura 5). Los principales resultados indican que la transmisión de vibración a la planta solo alcanza el 100% para las frecuencias más altas (superiores a 450 min⁻¹), y que la pérdida de bayas en el suelo no está influenciada por la frecuencia de vibración sino por las características de constitución de la máquina y de la viña. A mayor frecuencia de vibrado disminuye el número de frutos no recolectados mientras que aumenta el mosto liberado y sus pérdidas, así como el número de hojas desprendidas. La mejor regulación es aquella en la que se minimicen ambos aspectos que en este estudio se correspondió con 440 min⁻¹. Los autores advierten que las pérdidas debidas a fruto no recolectado (fácilmente visualizadas), tienden a favorecer el uso de frecuencias excesivas dado que las pérdidas de mosto no son evidentes.

En el segundo estudio (Caprara y Pezzi, 2011) se estudiaron las diferencias de pérdidas en vendimia con una máquina arrastrada (Gregoire G60) y otra autopropulsada (Gregoire 152) (foto 4) evidenciándose de nuevo que la proporción de bayas que cae al suelo no varía con la frecuencia de vibrado, mientras que las bayas que quedan en la vid incrementan con la frecuencia para la vendimiadora arrastrada (figura 6), aspecto extraño y que sólo es atribuible a que la vibración no se transmite en la dirección óptima. En este estudio, en la vendimiadora autopropulsada tampoco se observa que la proporción de bayas sin desprender disminuya con la frecuencia de vibración, manteniéndose prácticamente constante en todas ellas (figura 7).

En ambos estudios (2009 y 2011) se muestra el espectro de las vibraciones mecánicas producidas tanto en el cordón como en el extremo de brotes de 10 y 20 cm. La señal recogida con los acelerómetros como función del tiempo es transformada en el espectro de vibración mediante transformada rápida de Fourier, pudiendo caracterizarse diversas frecuencias de vibración, encontrándose la primera y máxima en torno a 7 Hz (en los tres casos) y la segunda a 14 Hz. Se observan además mayores diferencias entre máquinas autopropulsadas y arrastradas, que entre fabricantes.

FIGURA 6

Eficiencia a la recolección (%) y pérdidas en cosecha para la vendimiadora Gregoire G60, arrastrada. Fuente: Caprara y Pezzi (2011).

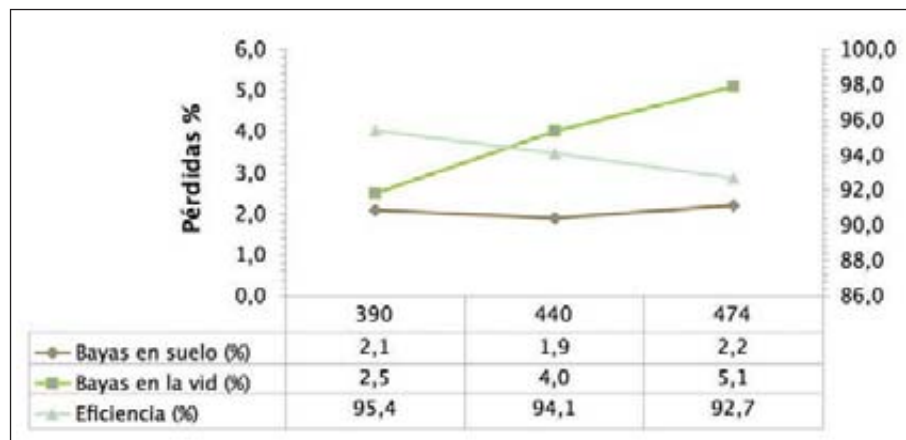




Foto 4. Modelos de las series G1 y G8 que han venido a sustituir a las vendimiadoras Gregoire G60 y G152, empleadas en el estudio de Caprara y Pezzi (2011).

Conclusiones

La implantación de la vendimia mecanizada en España continúa a buen ritmo. A nivel internacional, encontramos un estado de evolución superior con la incorporación de procedimientos de viticultura de precisión combinados con vendimiadoras con capacidad para realizar vendimia selectiva en función de mapas de calidad previamente generados. En un futuro no muy lejano es de prever que se desarrollarán programas que, en función de la calidad de la zona de la parcela a recolectar, tengan capacidad para ajustar de forma automática los pa-

rámetros básicos de la vendimiadora (como la amplitud y la frecuencia de vibrado y la velocidad de avance) a las características de esa zona a recolectar. Igualmente la lógica dice que si ahora se pueden hacer ya mapas de zonas diferenciadas de calidad en una parcela, el siguiente paso será el desarrollo, mediante algoritmos, de rutas dentro de la parcela para que al hacer una recolección diferenciada se garantice el llenado de ambas tolvas por igual.

El análisis de la eficiencia a la recolección y su relación con la transmisión de vibraciones mecánicas en las cepas es un aspecto muy destacable que está siendo estudiado en pro-

fundidad empleando acelerómetros estratégicamente situados en el cordón de entutorado y en los extremos de los brotes de diversa longitud. Estos estudios serán la base de los sistemas automatizados de ajuste de vibraciones y han de ser contrastados en condiciones locales.

Del análisis del comportamiento de las vendimiadoras en campo se deduce que existen diferencias significativas en el comportamiento de las vendimiadoras arrastradas y autopropulsadas, que superan las diferencias entre fabricantes: el espectro de vibración en las cepas difiere notablemente entre modelos arrastrados y autopropulsados. En todo caso, la eficiencia en la recolección media en los distintos tipos de máquinas es del 95% y se observan diferencias en cuanto a la sensibilidad al ajuste de los parámetros de vibrado, siendo notablemente más sensible la arrastrada que la autopropulsada.

La bibliografía científica ofrece gran cantidad de datos que pueden ser de utilidad a los usuarios si se desgranar adecuadamente en forma de hojas técnicas de divulgación. Insistimos en que es conveniente que las experiencias que se han realizado en algunos países se evalúen a la luz de las particularidades de nuestra viticultura. ●

Bibliografía

Las referencias completas se pueden solicitar a través de e-mail: eva.baguena@upm.es.

FIGURA 7

Eficiencia a la recolección (%) y pérdidas en cosecha para la vendimiadora Gregoire G152, autopropulsada. Fuente: Caprara y Pezzi (2011).

